



УДК: 502; 536.7; 621.1; 621.3; 624.1

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПОДЗЕМНОЙ АЭС НА БАЗЕ КОРАБЕЛЬНОГО РЕАКТОРА КН-3

TO THE QUESTION ABOUT THE DEVELOPMENT OF THE PROJECT OF UNDERGROUND NUCLEAR POWER PLANTS ON THE BASIS OF SHIP REACTOR KN-3

Хоссейн Исмаил, аспирант кафедры «Атомные станции и ВИЭ», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Асипцов Ярослав Олегович, студент кафедры «Атомные станции и ВИЭ», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Велькин Владимир Иванович, к.т.н., доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, E-mail: v.i.velkin@urfu.ru, Тел: +7(922)104-62-48

Hossain Ismail, post-graduate student of the Department "Nuclear power plants and RES", Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19

Yaroslav O. Asiptsov, student of the Department "Nuclear power plants and RES", Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19

Vladimir I. Velkin, candidate of technical Sciences, associate Professor KAF. "Nuclear power plants and renewable energy sources", Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19, E-mail: v.i.velkin@urfu.ru, Tel: +7(922)104-62-48

Аннотация: Рассматривается вариант подземной АЭС (ПАТЭС) на базе корабельного ядерного энергетического реактора КН-3. Дана схема конструкции ЯЭУ и схема расположения основных систем оборудования ПАТЭС. Рассмотрены экологические и экономические особенности функционирования ПАТЭС.

Abstract: A variant of an underground nuclear power plant (ANPP) based on the ship nuclear power reactor KN-3 is Considered. A diagram of the construction of nuclear power units and the layout of the main systems of equipment NPP. Ecological and economic features of functioning of ANNP are considered.

Ключевые слова: ядерная энергетика; ядерные реакторы малой и сверхмалой мощности; ПАТЭС (подземная атомная энергетическая станция); корабельные ядерные энергетические установки.

Key words: nuclear power engineering; nuclear reactors of small and super small power; pates (underground nuclear power station); ship nuclear power plants.

ВВЕДЕНИЕ

Идея подземного размещения ядерных реакторов не нова. Подземные атомные станции с самого начального периода развития атомной энергетики не стали редкостью. Примером тому явились подземные атомные станции в Норвегии, Швеции, Швейцарии, Франции, США [1]. В Советском Союзе подземные блоки промышленных реакторов были сооружены в Красноярске. В подавляющем числе АЭС возводились в наземной компоновке.

Безоблачный период стремительного роста числа таких АЭС резко оборвался после случившейся аварии на АЭС ТМ1 в США и, особенно, после катастрофы на ЧАЭС в СССР.

В УралЭНИН УрФУ ведутся работы по подготовке персонала и разработке пилотных проектов различных типов АЭС, в т. ч. в подземном исполнении [2].

На территории России и многих стран мира существует большое количество территорий, не

имеющих связи с централизованными электрическими сетями. Энергообеспечение таких районов является одной из сложных задач. В настоящее время энергоснабжение удаленных объектов осуществляется в основном за счет бензиновых и дизельных генераторов, применение которых приводит к большим затратам топлива и негативному воздействию на окружающую среду. Одним из вариантов решения вышеописанных проблем является использование модульных сверхмалой мощности (50-100 МВт) корабельных ядерных энергетических установок [3-6].

Расчеты российских ученых показывают: сроки строительства подземной станции мощностью в 900 МВт в три раза короче, чем аналогичной по мощности АЭС, но еще и строительные работы требуют значительно меньших капиталовложений [3,6,7]. Это связано с особенностями технологического решения их эксплуатации. ПАТЭС представляет собой несколько энергетически связанных между собой реакторов-модулей, которые производятся целиком на заводе. Такие заводы есть в России, например, в Санкт-Петербурге, раньше они специализировались на выпуске реакторов для атомных подводных лодок. Некоторые изменения в реакторе, которые необходимы для эксплуатации в мирных целях, производятся достаточно легко [5].

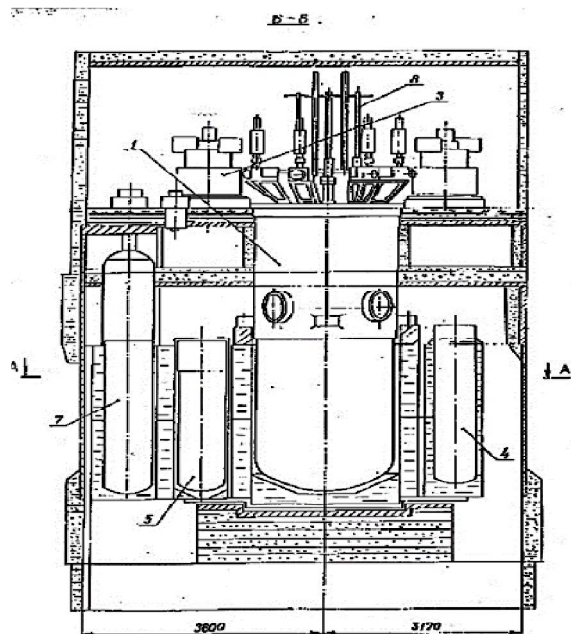


Рис. 1. Конструкция ЯЭУ КН-3:
1 – реактор; 2 – Реакторный модуль; 3 – электропривод ГЦН; 4 – фильтр 1-го контура; 5 – холодильник фильтра; 6 – активная зона; 7 – компенсатор давления; 8 – приводы СУЗ

Реакторы-модули доставляются на место эксплуатации и опускаются под землю на глубину около 70 метров. Для эксплуатации ПАТЭС необходима площадь менее 25 га, что позволяет устанавливать их практически где угодно [6,8,9]. Благодаря такому конструкторскому решению капитальные вложения в строительство составляют менее \$230 млн. Это сразу сказывается на себестоимости электроэнергии - 1,2 цента/кВт.ч. (для сравнения, себестоимость на современных АЭС около 2,4, а ТЭС - 3,15 цента/кВт.ч.) [10].

Таблица 1.

Технико-экономические характеристики ПАТЭС на основе реактора КН-3

№	Характеристика	Показатель
1.	Тип: Водо-водяной, КН-3	3
2.	Электрическая мощность, МВт	75 x 3
3.	Тепловая мощность, МВт	235 x 3
4.	Продолжит. работы за год, час	8760
5.	КИУМ, %	80
6.	Отпуск эл.энергии за год, млн кВт.ч	1308
7.	Отпуск тепловой энергии, тыс Гкал	890
8.	Кап.вложения в стр-во, млн долл.	900
9.	в т.ч. СМР, млн долл.	302,33
10.	в т.ч. оборудование, млн долл.	307,49
12.	Удельные кап.вложения, долл./кВт	2030
13.	Срок окупаемости, лет	14
14.	Численность персонала, чел.	120

Кроме того, для ПАТЭС сразу предусмотрена «перспектива» закрытия после отработки ресурса. Современные атомные станции дадут головную боль только лет через 10-15, когда исчерпается срок продления. А между тем затраты на закрытие АЭС составляют от 30 до 100% их стоимости: то есть \$400-1200 млн.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОТ ПАТЭС

Отмечая актуальность Киотского протокола, заметим, что только энергия атомной станции способна реально решить экологические проблемы, связанные с предотвращением эмиссии в атмосферу парниковых газов углеродной энергетики. Так, атомная станция электрической мощностью в 3*75 МВт и тепловой производительностью 3*50 Гкал/час предотвратит сброс в атмосферу более 5 000 000 тонн углекислого газа в год, который образуют угольные топki котлов аналогичной мощности.

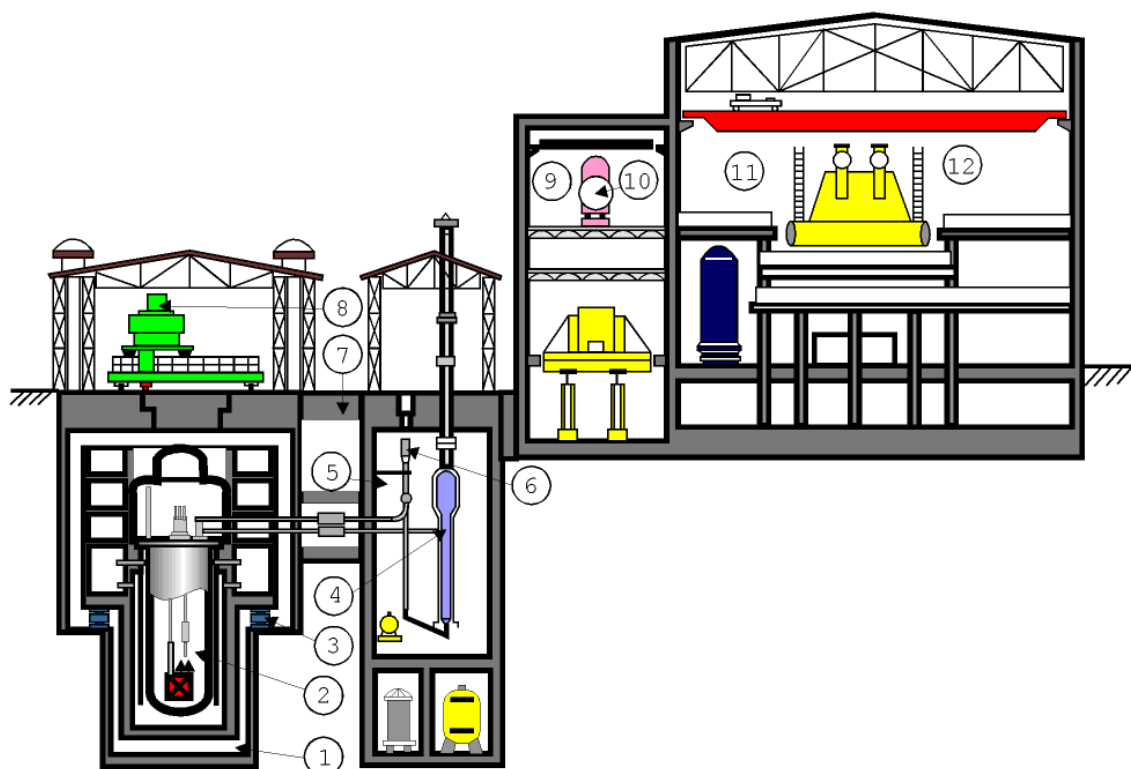


Рис. 2. Схема подземной АЭС

- 1 – реакторное отделение; 2 – реактор; 3 – амортизатор; 4 – парогенератор;
 5 – парогенераторное отделение; 6 – насос второго контура; 7 – защитная бетонная плита;
 8 – разгрузочно-загрузочная машина; 9 – деаэрационная этажерка; 10 – деаэрационная машина; 11 – машзал; 12 – турбогенератор

Стандартная загрузка реактора ВВЭР-1000 около 70 тонн топлива. ПАТЭС же необходимо менее 4,5 тонны. За счет такого сокращения потребления ядерного топлива, а также более современных систем переработки, в среднем количество отходов «жизнедеятельности» станции в 15-20 раз меньше, чем на аналогичном по мощности энергоблоке. Кроме того, подземные реакторы не накапливают оружейный плутоний, что упрощает утилизацию отработанного топлива и не отягощает страну внешнеполитическими проблемами.

Когда рассчитывалось воздействие на ПАТЭС 32-х стандартных экстремальных факторов, оказалось, что 19 из них (58%) не оказывают никакого влияния на режим ее работы. Среди них ураганы, смерчи, землетрясения, взрывы вне пределов станции. Станции не страшно даже прямое попадание атомной бомбы мощностью до 50 килотонн [9].

Модульные реакторы ПАТЭС могут быть заполнены воздухом с пониженным содержанием кислорода, что препятствует возникновению пожаров. К тому же отрицательный коэффициент реактивности реакторов обеспечивает самогашение цепной реакции при нарушениях

ядерных процессов в активной зоне. Эти предосторожности не позволяют произойти аварии чернобыльского типа, при которой расплавились тепловыделяющие сборки, и взрыв разнес радиоактивные элементы по территории Украины и близлежащих государств.

Все эти меры, а также небольшие площади, необходимые для эксплуатации ПАТЭС, позволяют строить их в непосредственной близости от крупных городов-потребителей. Зачем? Дело в том, что кроме электроэнергии, обычные АЭС производят колоссальное количество тепловой энергии. Строительство ПАТЭС возле городов позволяет и использовать тепловую энергию станции и сохранять атмосферу городов от выбросов ТЭЦ.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПАТЭС НА БАЗЕ КОРАБЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время во всем мире АЭС используют в качестве базовых мощностей (изменяющиеся в течение суток и в зависимости от времени года, потребности в электроэнергии обеспечиваются другими видами электростанций). Специфика работы атомных электростанций заключается в том, что их цикл

производства практически непрерывен и не позволяет регулировать количество электроэнергии, выдаваемой в энергосистему страны. ПАТЭС лишены этого недостатка в силу специфики своей «предыдущей жизни». Подводной атомной лодке и авианосцу необходимы были резкие изменения мощности для выполнения своей боевой задачи. Конструкция корабельных реакторов позволяет за секунду уменьшить или увеличить подачу электроэнергии на 1%. «Неповоротливость» современных АЭС не позволяет оперативно реагировать на изменение потребляемой энергии в часы пик [11,12].

Остановы станций с реакторами типа ВВЭР объясняются перезагрузкой топливом, а также проведением регламентных работ для проверки надежности энергоблоков. На ПАТЭС же, смонтированной из нескольких реакторов-модулей, необходимость полной остановки отпадает: один модуль всегда находится в резерве. Перезагрузка реакторов производится по очереди, так что всегда может поддерживаться нужная мощность. Это позволяет подземной станции, например, мощностью 900 МВт, производить за год до 6 млрд кВт.ч. электроэнергии (для сравнения, на ВВЭР-1000 этот показатель около 5 млрд кВт.ч.) [12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И.Р.Степанов. Подземные атомные электростанции. Энергохозяйство за рубежом. №5, №6.1986
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Велькин В.И. Опыт разработки электронных образовательных ресурсов подготовки ремонтного персонала для атомных станций В сборнике: Новые образовательные технологии в вузе Сборник докладов Пятой Международной научно-методической конференции: в 2 частях. 2008. С. 366-372.
3. В.М. Пашин, В.П. Копченков, В.П. Струев, Э.Л. Петров, В.И. Бурак. Техничко-экономическая эффективность подземной атомной теплоэлектростанции, создаваемой на базе судостроительных технологий для СРЗ "Нерпа". Инв. 0407-2536 ТО. ЦНИИ КР, 2000
4. В.М. Пашин, Э.Л. Петров, Б.С. Хазов, Г.П. Шалик. Проект подземной атомной теплоэлектростанции штольневой типа "Нерпа". Судостроение №5.2000
5. А. Полушкин, Е. Кузин, А. Кривошеин. Проект атомной станции малой мощности на базе ПЭБ с реакторной установкой КЛТ-40с. Бюллетень по атомной энергии 10/2003
6. Проектирование и строительство подземных атомных электростанций. МЭ и Э. М, 1985
7. И.Д.Спаский. Унифицированный атомный энергетический модуль для подземных атомных теплоэлектростанций. БЛИЦ. ПАТЭС-ООПЗ. ЦКБ МТ Рубин. 1992
8. Ю.К. Панов. Реакторная установка повышенной безопасности типа КН-3 для АЭС подземного размещения. Техническое обоснование безопасности. Инв. 9.0294ПЗ. ОКБМ им. И.И. Африкантова. 1992
9. В.М. Пашин, В.П. Копченков, В.П. Струев, Э.Л. Петров. Технические средства контроля внутренней и радиационной безопасности ПАТЭС. Инв. 407-2395. ЦНИИ КР. 2000
10. В.М. Пашин, В.П. Копченков, В.П. Струев, Э.Л. Петров, Г.П. Шалик. Оценка энергетической эффективности ПАТЭС-300 при ее использовании в качестве основного источника тепло-и электроснабжения для региона СРЗ "Нерпа". Инв. 0407-2485ТО. ЦНИИ КР. 2000
11. В.М. Пашин, В.П. Копченков, В.П. Струев, Э.Л. Петров, Р.А. Иванов, В.Г. Хорошев. Расчетные исследования основных технических характеристик и проектно-конструкторская проработка теплообменного оборудования паротурбинной установки модуля. Инв. 0403-2441.ТО. ЦНИИ КР.2000
12. В.М. Пашин, В.П. Копченков, В.П. Струев, Э.Л. Петров, Р.А. Иванов, В.В. Тимофеев. Определение характеристик основного вспомогательного оборудования ПАТЭС. Инв. 0403-2444. ЦНИИ КР. 2000